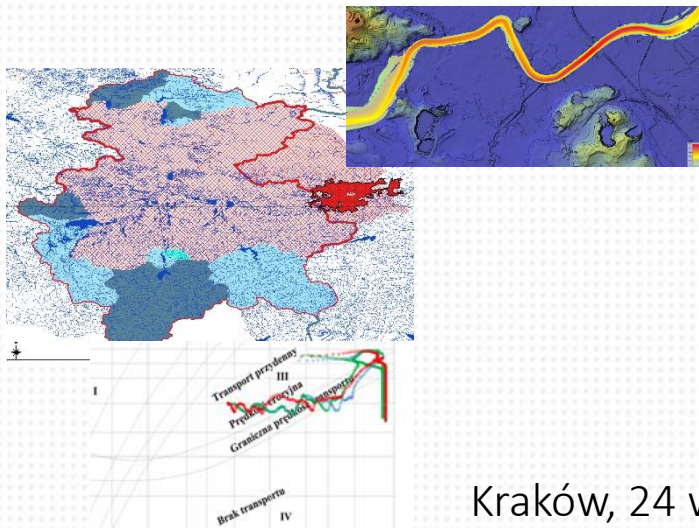


Miasto Kraków

– stracone szanse racjonalnej ochrony przed powodzią



Bernard TWARÓG

Politechnika Krakowska

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Kraków, 24 września 2021 r.



Cel i zakres badań

W dzisiejszej dobie, rozwój demograficzny, trendy urbanizacji oraz zmiany klimatyczne w ekspansywnym procesie rozwoju nasilają naturalne zagrożenia i nieodwracalnie oddalają miasto Kraków od bezpiecznych rozwiązań

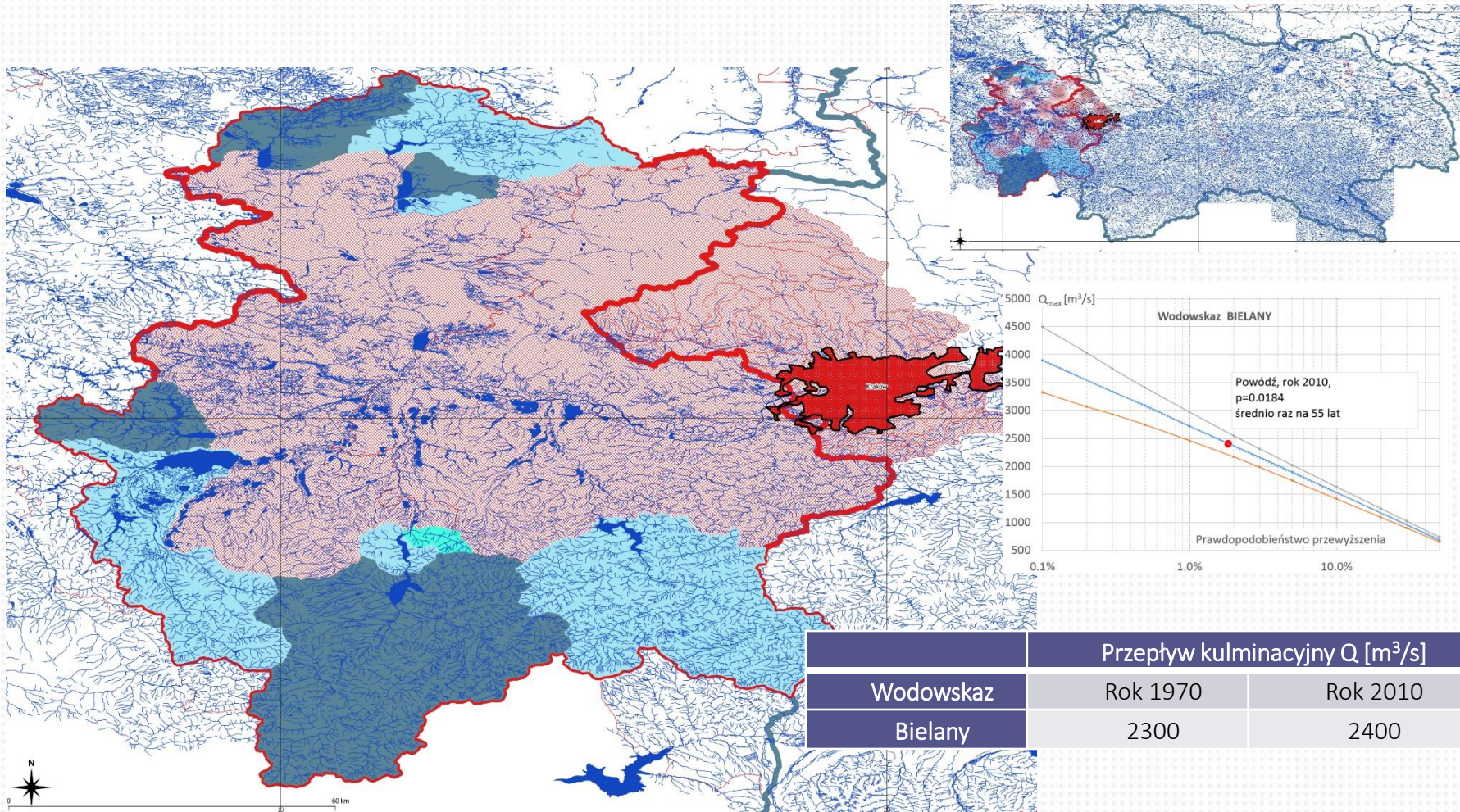
Wciąż podejmowane decyzje nie uwzględniają strategicznego podejścia wymagającego analiz wszystkich elementów ryzyka, eliminacji możliwych składników ryzyka oraz minimalizacji pozostałych składników ryzyka

Celem jest wskazanie zauważonych nieracjonalnych działań mających konsekwencje w pogarszaniu skutecznej ochrony przeciwpowodziowej oraz przerzucania kosztów błędnych decyzji na gminy ościenne

Racjonalna ochrona

- Ochrona przed powodzią jest szeregiem działań inwestycyjnych oraz organizacyjno - prawnych zmierzających do niedopuszczenia lub minimalizacji strat, jakie mogłyby wystąpić w czasie przepływu wód powodziowych
- Działania te powinny być efektem racjonalnych decyzji, które w miarę możliwości uwzględniają wszystkie racje podyktowane względami ekonomicznymi, społecznymi i ekologicznymi

Impuls zagrożenia

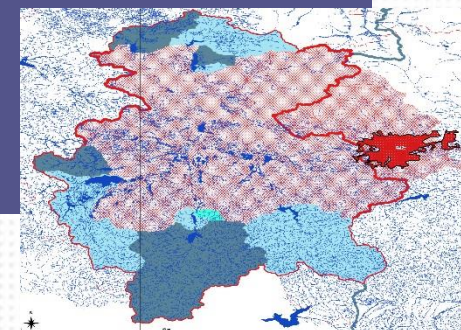


Przy sumie opadu około 100 mm

Przybliżony deficyt retencji $191.3 - 183.6 = 7.7$ mln m³

Bilans przybliżony

Nazwa zbiornika	Rzeka	Rezerwa p.pow. [mln m ³]	Poj. całk. [mln m ³]	Pow.zlewni [km ²]	%BIELANY	%NIEPOŁOMICE	Objętość [mln m ³] przy 100 [mm]	60%-odpływu [mln m ³]
Goczałkowice	Mała Wisła	45.4	165.6	530.6	6.95%	6.05%	53.1	31.8
Tresna	Soła	53.5	94.04	1036.5	13.58%	11.82%	103.6	62.2
Porąbka	Soła	4.6	27.19	55.0	0.72%	0.63%	5.5	3.3
Świnna Poręba	Skawa	60	145.5	786.9	10.31%	8.97%	78.7	47.2
Łąka	Pszczynka	3.1	11.15	166.2	2.18%	1.90%	16.6	10.0
Kozłowa Góra	Brynica	2.8	15.2	193.3	2.53%	2.20%	19.3	11.6
Przeczyce	Czarna Przemsza	2.9	20.74	299.1	3.92%	3.41%	29.9	17.9
Kuźnica Warężyńska	Czarna Przemsza	8.1	51.16	64.4	0.84%	0.73%	6.4	3.9
Pogoria				29.4	0.39%	0.34%	2.9	1.8
Czaniec	Soła	0.6	1.32	27.2	0.36%	0.31%	2.7	1.6
Wisła Czarne	Mała Wisła	2.6	4.94					
SUMA		183.6	536.84	3188.7	41.77%	36.35%	318.9	191.3
BIELANY	Wisła			7633.9				
WEJŚCIE DO KRAKOWA	Wisła			4445.2				
NIEPOŁOMICE	Wisła			1137.7				
WYJŚCIE Z KRAKOWA	Wisła			5582.9				



Przy sumie opadu około 100 mm

Przybliżony deficyt retencji $191.3 - 183.6 = 7.7$ mln m³

Regulacja i wycinka

Wpływ na ukształtowanie koryta:

- zmiana zwartego koryta meandrującego na koryto roztokowe,
- zwiększenie intensywności transportu rumowiska,
- wyprostowanie i zwężenie koryta,
- obniżanie się poziomu dna wskutek przyspieszonej erozji.

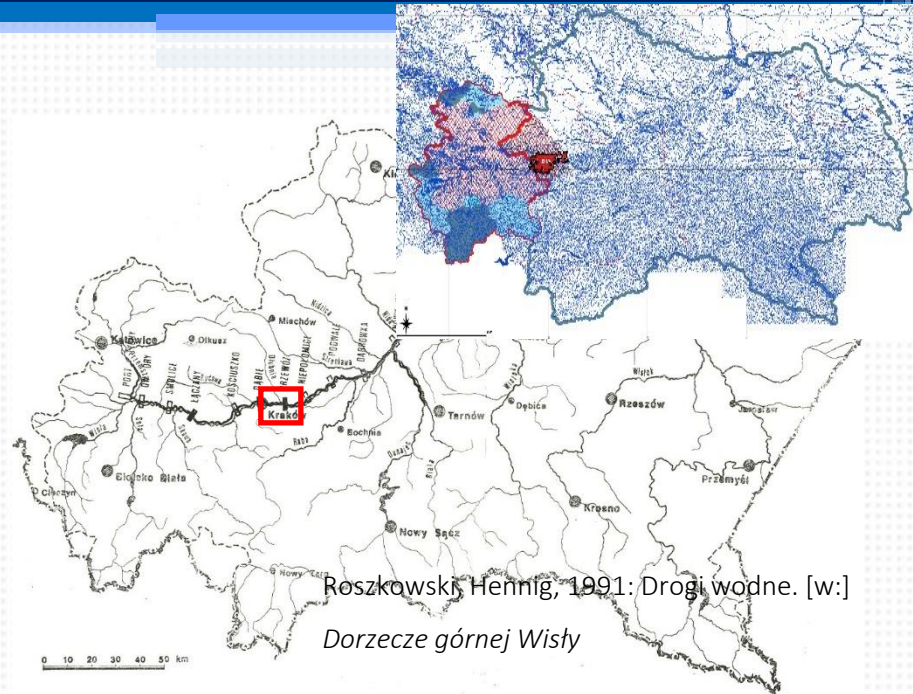
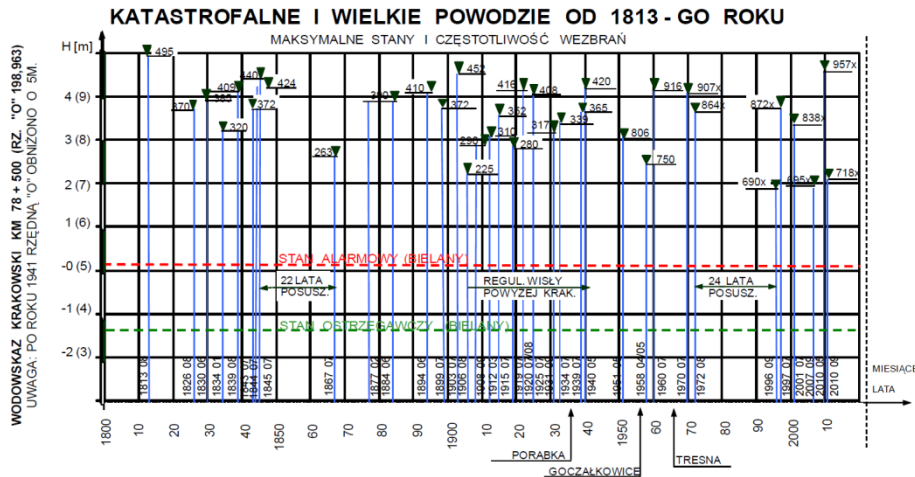
Wpływ na zjawiska powodziowe:

- zwiększenie i przyspieszenie odpływu powierzchniowego,
- wzrost maksymalnych przepływów powodziowych,
- przyspieszenie postępu fal powodziowych,
- nakładanie się kulminacji dopływów i na kulminację rzeki głównej (synchronizacja),
- wzrost prawdopodobieństwa powstawania zatorów lodowych.

Wpływ na ekosystem:

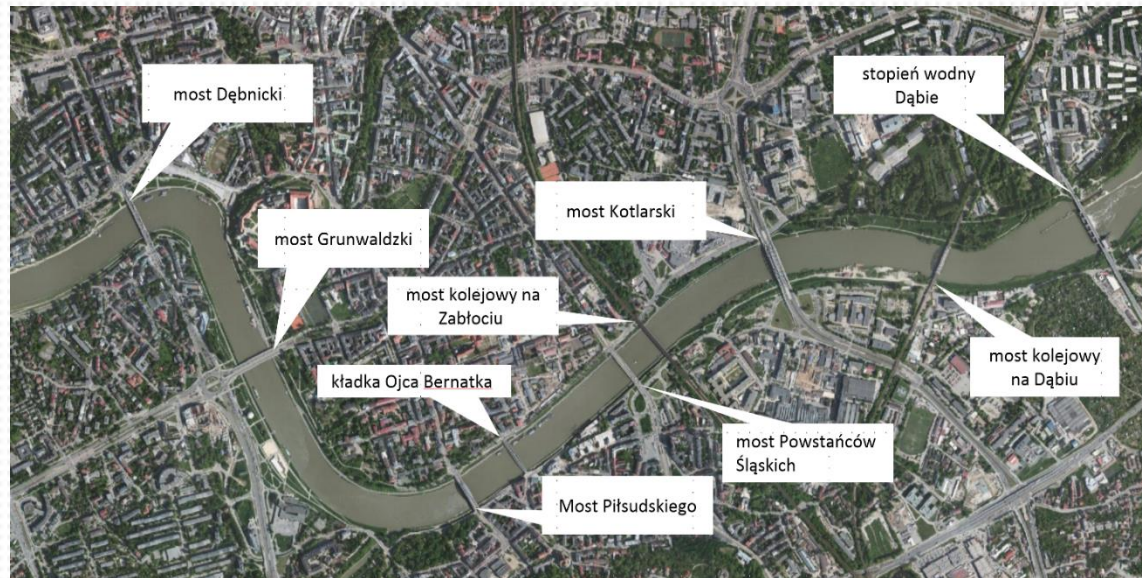
- ekosystemy związane z korytem i doliną rzeki roztokowej są cenniejsze od ekosystemów rzeki o jednorodnym korycie ze względu na występowanie wysp oraz odgałęzień koryta o zróżnicowanej głębokości i prędkości przepływu
- likwidacja wysp, zakoli rzecznych i bocznych koryt - zmniejszenie bioróżnorodności.

Brama Krakowska



Brama Krakowska stanowi najbardziej przewężony odcinek obniżenia tektonicznego w środkowym pasie województwa i łączy Kotlinę Oświęcimską i Sandomierską.

Zabudowa śródmiejskiego odcinka Wisły



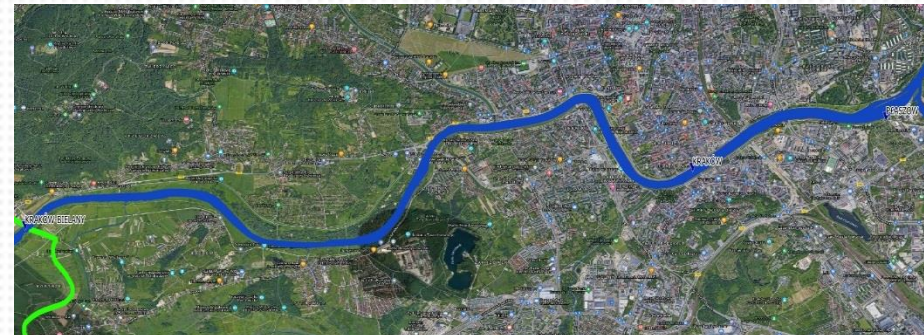
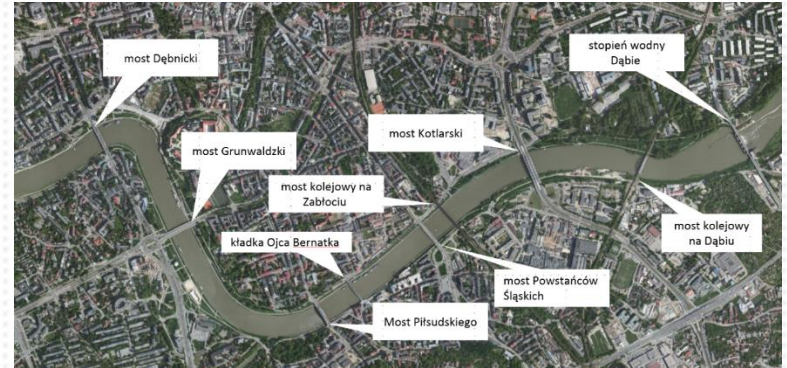
Brama Krakowska - warunki równowagi

- Współczesna wiedza w zakresie równowagi hydromorfologicznej koryt rzecznych opisywana jest teorią geomorfologii fluwialnej. Pozwala poszukiwać odpowiedzi związanych z utrzymaniem równowagi cieku jak również jego utraty. W skutkach często wiąże się to ze zmianami profilu poprzecznego oraz podłużnego koryta, wielkości przepływu, ilości transportowanego rumowiska wlezonego oraz lokalizacji miejsc erozji i depozycji.
- Umiejętność posługiwania się metodami geomorfologii fluwialnej stanowi narzędzie pozwalające sparametryzować „punkt widzenia rzeki” na warunki przepływu oraz na możliwości ułatwienia przebiegu wezbrania poprzez odpowiednie ukształtowanie przestrzeni koryta oraz jego sąsiedztwa.
- W obszarze Bramy Krakowskiej materiał denny dobrze opisywany jest frakcją piaskową o średnicy miarodajnej około 2 mm. Oznacza to, że dopuszczalne prędkości średnie przepływu w warunkach powodziowych mogą dochodzić do 1.5 m/s. Przekroczenie, tych kryteriów narusza równowagę i stwarza warunki do erozji i depozycji.

Zabudowa analizowanego odcinka

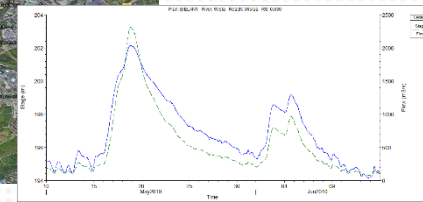
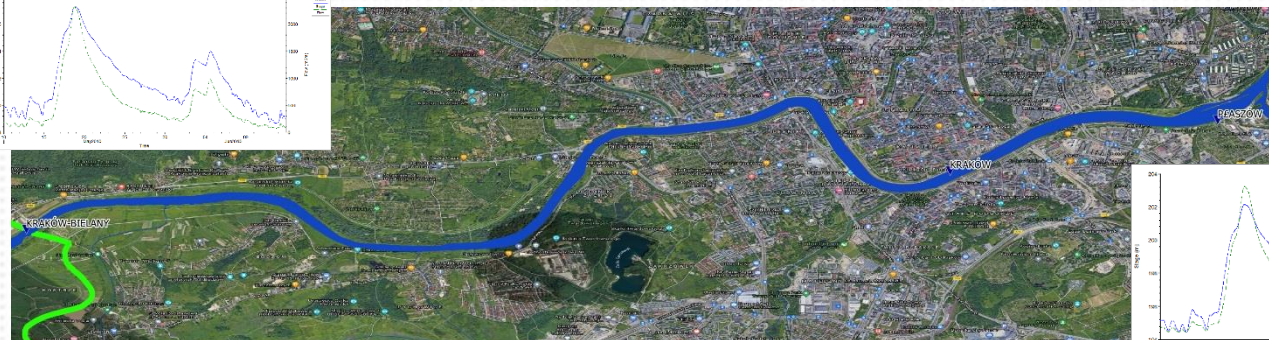
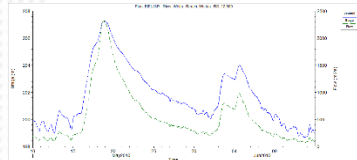
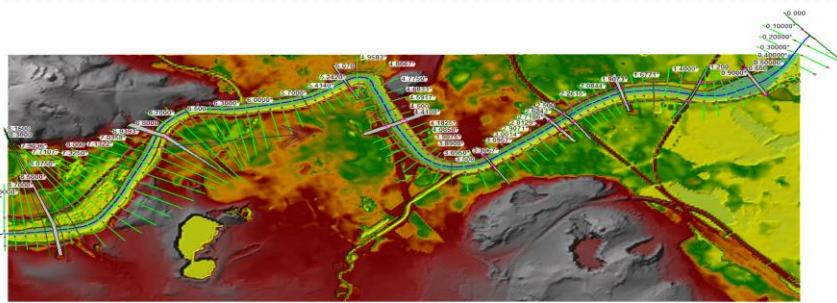
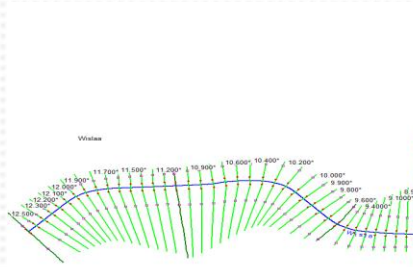
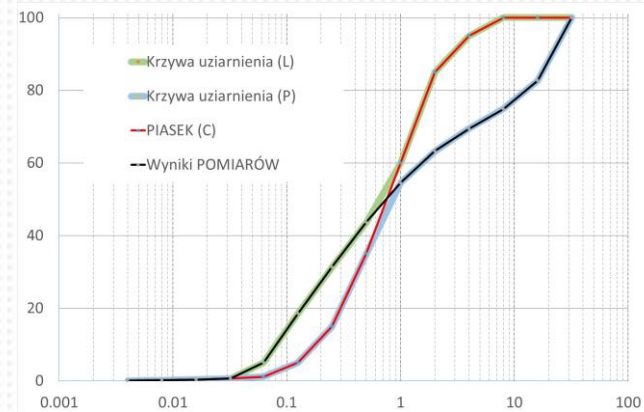
Obiekty inżynierskie

- 1. most na stopniu wodnym Kościuszko (IV obwodnica Krakowa)
- 2. kładka przy stopniu wodnym Kościuszko
- 3. most podwieszony w Pychowicach (rurociąg grzewczy) (drugi z kolei)
- 4. most Zwierzyniecki
- 5. **most Dębnicki (II obwodnica Krakowa)**
- 6. **most Grunwaldzki**
- 7. **most Józefa Piłsudskiego**
- 8. **kładka Ojca Bernatka**
- 9. **most Powstańców Śląskich**
- 10. **most kolejowy na Zabłociu (linia kolejowa nr 91)**
- 11. **most Kotlarski (II obwodnica Krakowa)**
- 12. **most kolejowy na Dąbiu (linia kolejowa nr 100)**
- 13. **stopień/most na stopniu wodnym Dąbie**
- 14. most Nowohucki oraz rurociąg grzewczy w Łęgu
- 15. most Wandy
- most na drodze S7 (oddany do użytku w czerwcu 2017; nieoznaczony na mapie)
- 16. stopień wodny Przewóz
- 17. most kolejowy w Przylasku Rusieckim (linia kolejowa nr 95)
- 18. most Kraków-Niepołomice

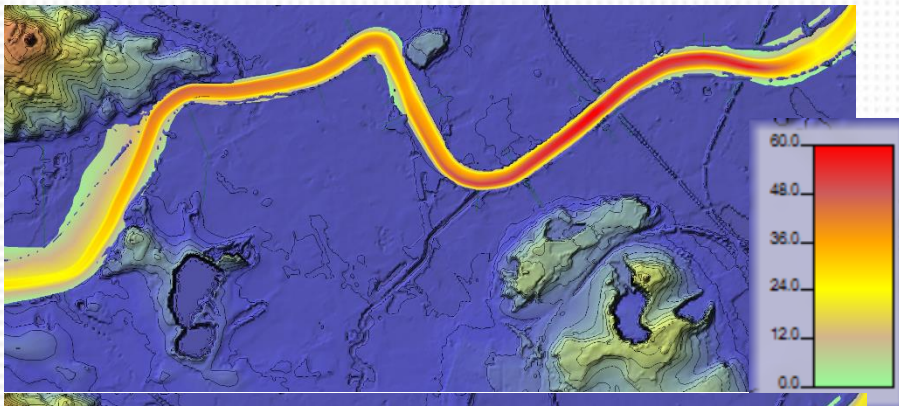


Transport rumowiska

Mosty i stopnie	km lokalny
most podwieszony w Pychowicach	8+225
most Zwierzyniecki	6+820
Most Dębnicki	5+060
Most Grunwaldzki	4+300
Most Piłsudskiego	3+200
Most Powstańców Śląskich	2+515
Most Kolejowy na Zabłociu	2+365
Most Kotlarski	1+815
Most Kolejowy na Dąbiu	1+185
Stopień Dąbie	0+630

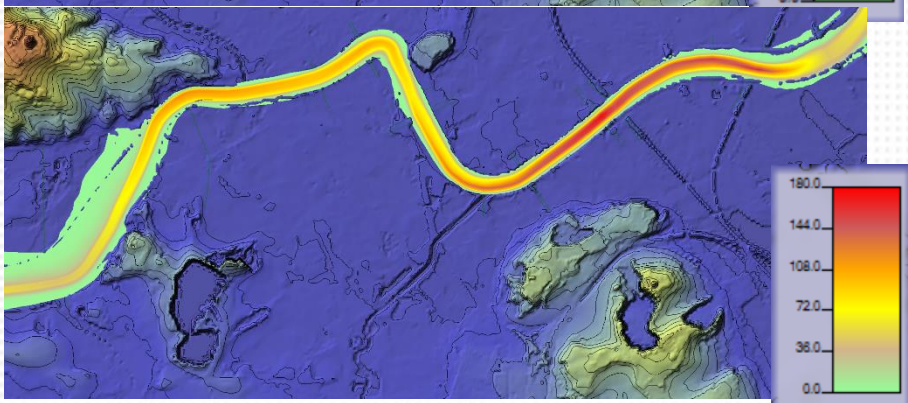


Parametry hydromorfologiczne

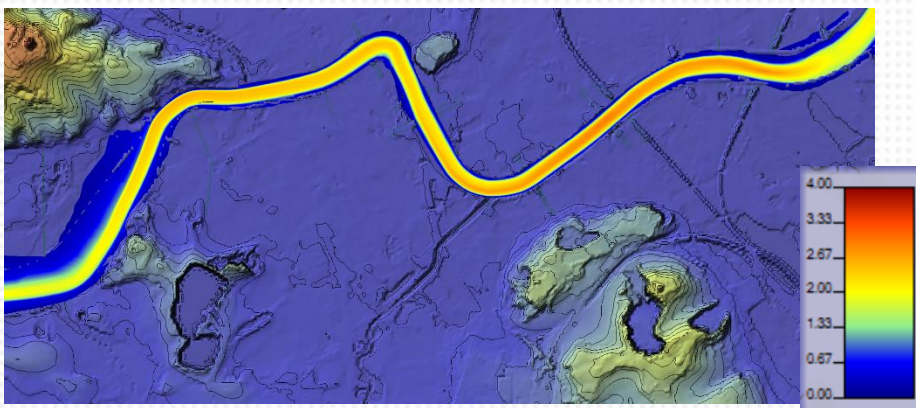


max Naprężenia Styczne
(siła unoszenia)
do 80 N/m²

- wyniki modelowania parametrów hydromorfologicznych systemem HECRAS (1D+2D)+GISTools oraz przetworzone informacje z wykorzystaniem oprogramowania QGIS
- wartości mocy strumienia, naprężenia styczne, wartości prędkości
- wartości parametrów hydromorfologicznych odpowiadają ekstremalnym wartościom przepływów rzędu 2320 m³/s.



max Moc strumienia
do 150 W/m²



max Prędkość
do 3 m/s

Diagram Sundborga

- Diagram Sundborga [Klimaszewski 1981] pokazuje zależność między prędkością przepływu wody na wysokości 1,0 m nad dnem, a ruchem rumowiska
- Sundborg wyznaczył krzywą prędkości erozyjnej, przy której następuje wprawienie w ruch cząstek określonej średnicy
- Na diagramie znajduje się krzywa granicznej prędkości transportu, poniżej której następuje depozycja rumowiska
- Diagram podzielony został przez Sundborga na 4 pola przedstawiające charakter ruchu rumowiska
- Pole I obejmuje prędkości wystarczające do transportu w zawieszynie.
- Pole II obejmuje prędkości wystarczające do transportu, ale bez możliwości jego inicjacji
- Materiał zdeponowany na dnie nie ma możliwości ponownego wprowadzenia do ruchu
- Pole III charakteryzuje prędkości powodujące przydenny transport osadów przez wleczenie
- Pole IV charakteryzuje prędkości, przy których następuje depozycja materiału wleczonego i zawieszzonego

Diagram Sundborga - analiza odcinkowa

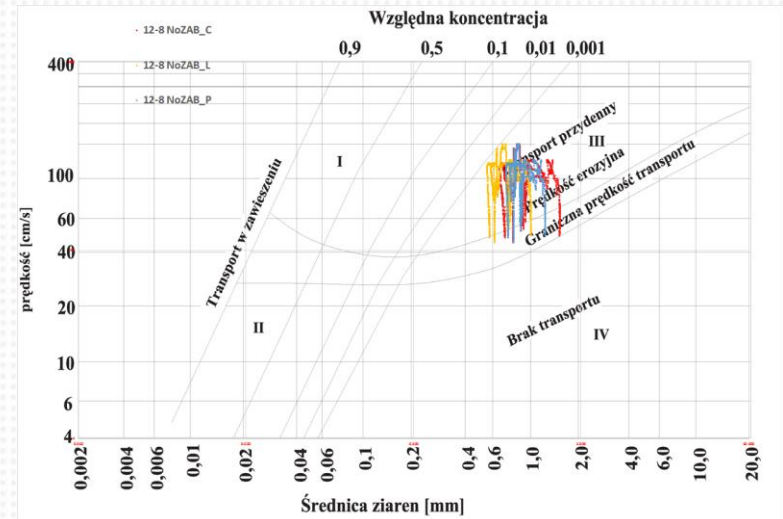
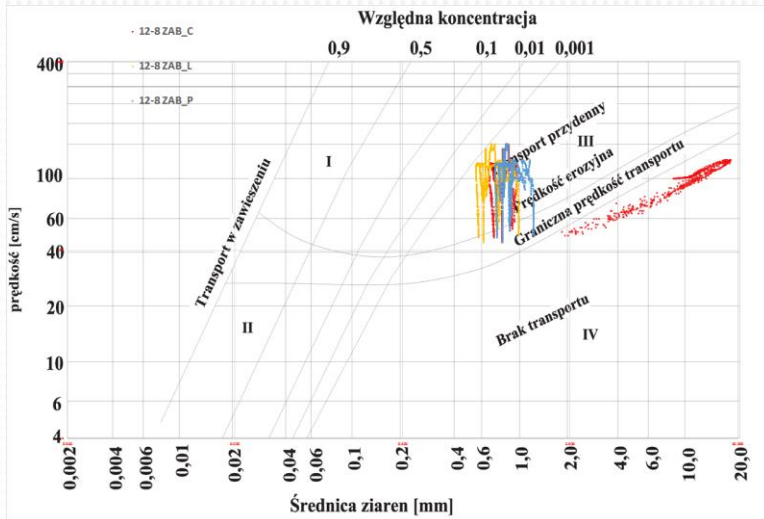
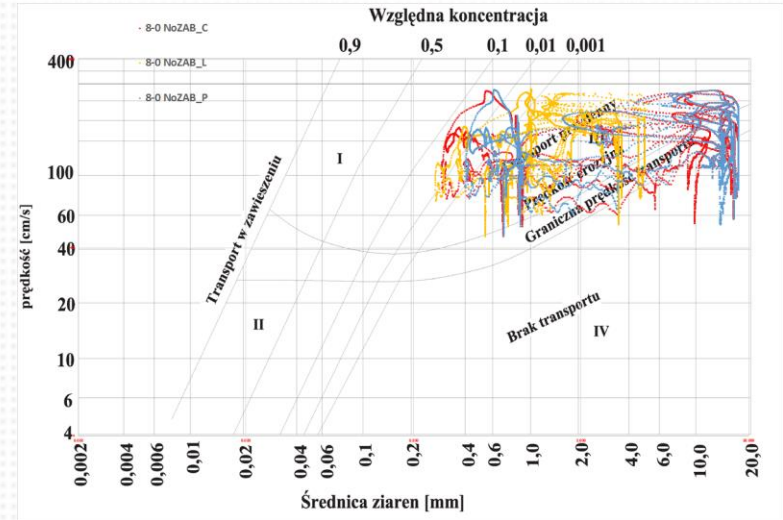
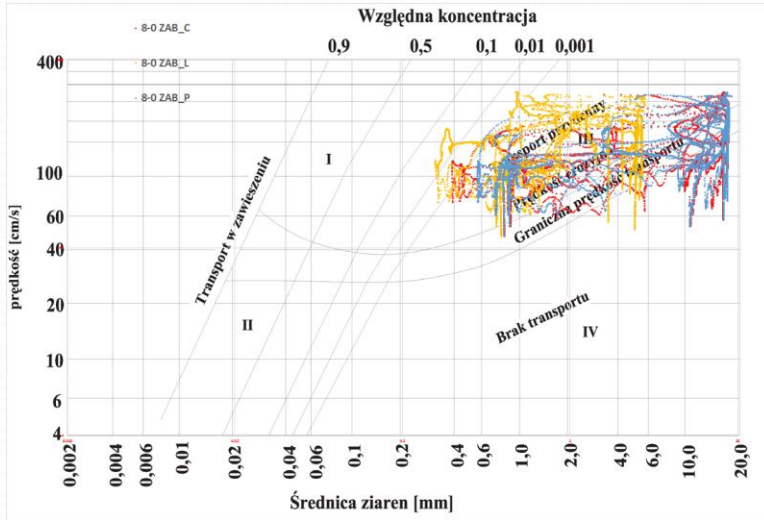
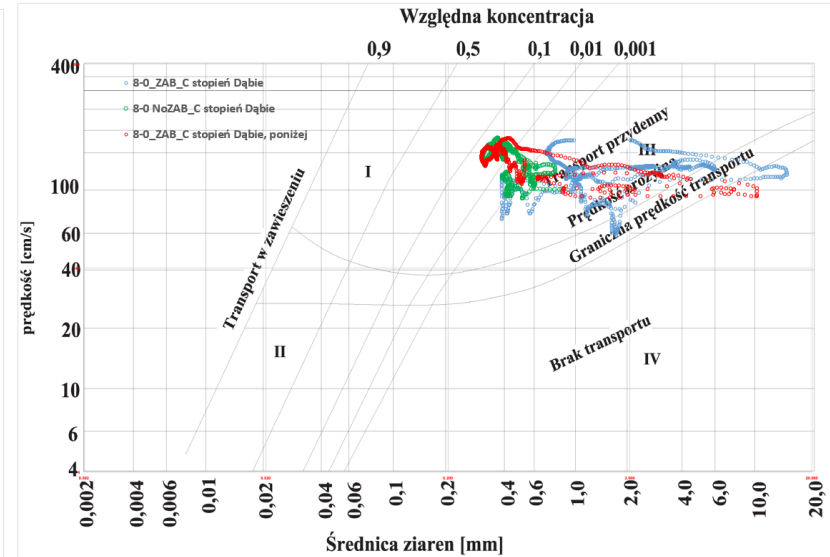
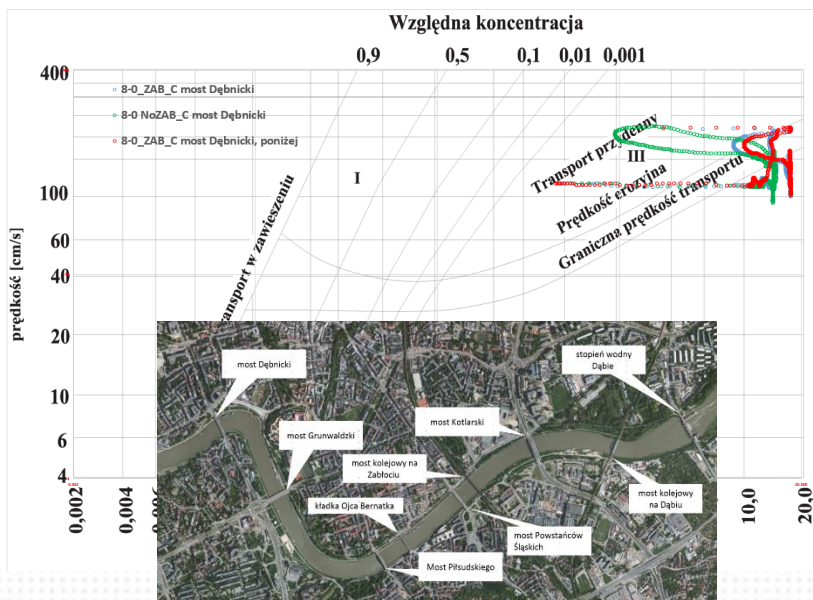
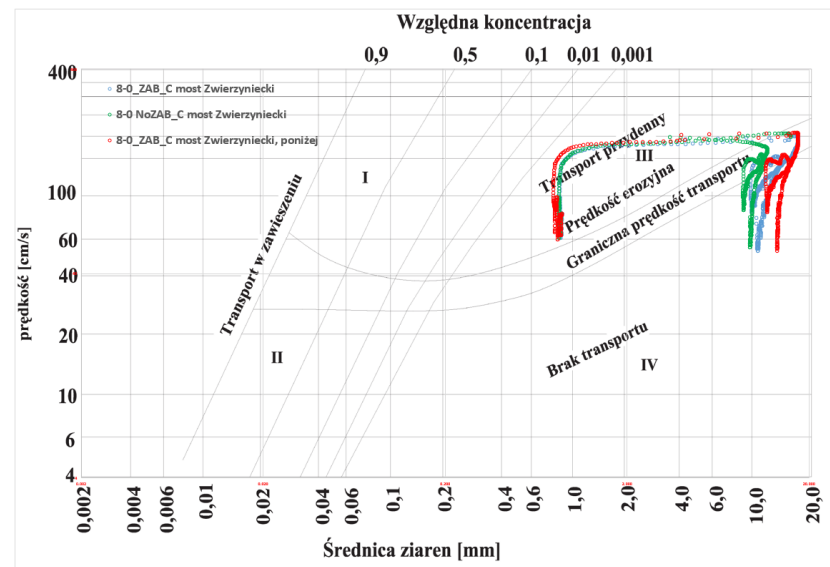
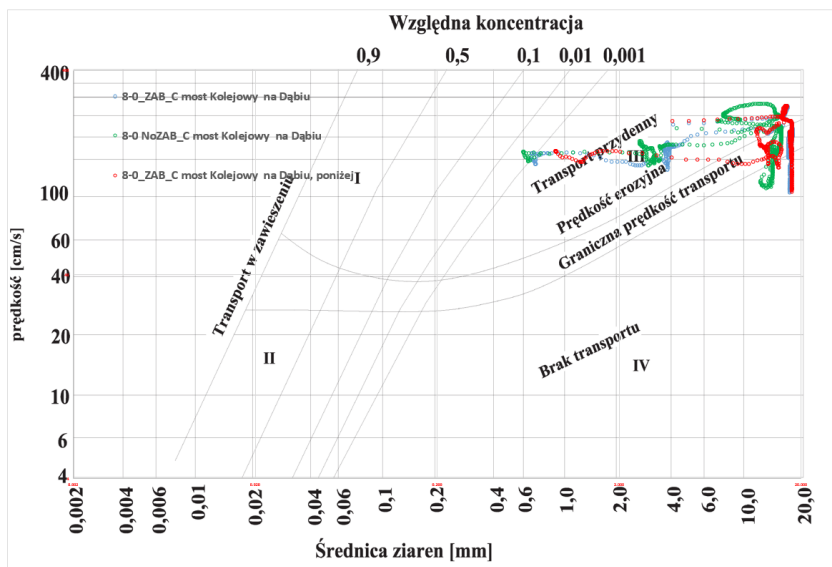


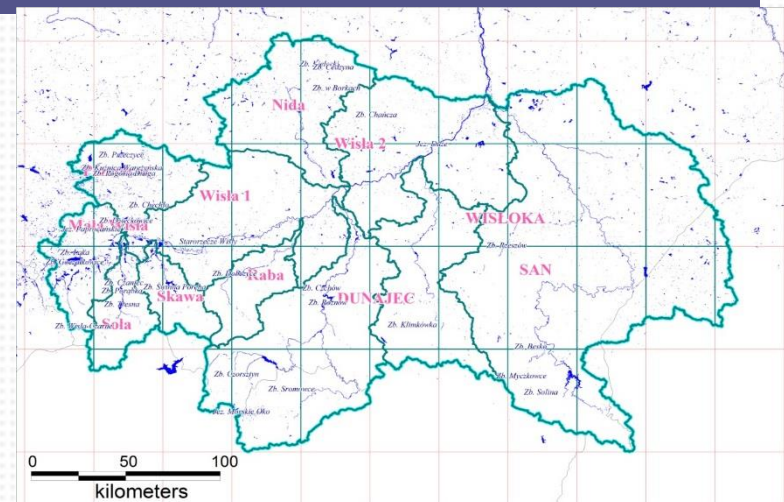
Diagram Sundborga – analiza wybranych obiektów



Średni wzrost MAX sumy opadów dobowych, trendy

- 0.07 – 0.275 mm/rok

ID_HYD	NAZ_ZLEWNI	Area [km ²]	Slope [mm/rok]	Lower-BND 95% [mm/rok]	Upper-BND 95% [mm/rok]	
6	2110	MALA WISLA	1816	0.066	-0.411	0.544
7	2111	WISLA 1	5069	0.210	-0.098	0.519
8	2112	WISLA 2	5542	0.275	0.044	0.506
9	2132	SOLA	1357	0.140	-0.324	0.604
10	2134	SKAWA	1175	0.070	-0.323	0.463

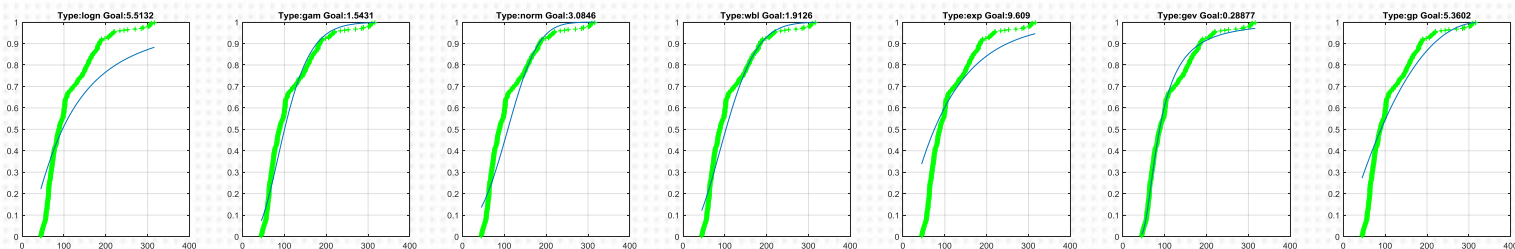


Analiza zdarzeń opadowych od 7 – 14 dni

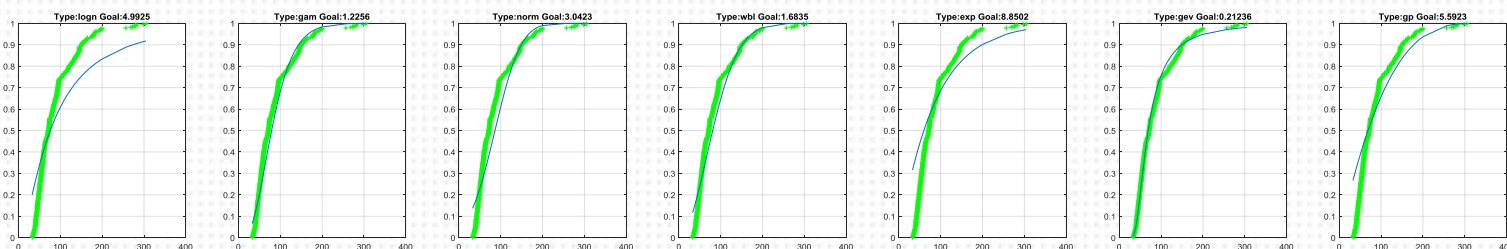
- Okres dobowych ciągów opadowych od 1979 – 2017
- Zdefiniowanie próby w postaci sum opadów od 1 do 14 dni (kolejno 1,2,3 - 14) dla każdego roku
- Określenie maksimów w przekroju wielolecia 1979-2017
- Obliczenie prawdopodobieństwa warunkowego przewyższenia sumy opadów dla wartości 180 mm
- Obliczenie trendu prawdopodobieństwa warunkowego przewyższenia sumy opadów dla wartości 180 mm

Przykłady analiz probabilistycznych

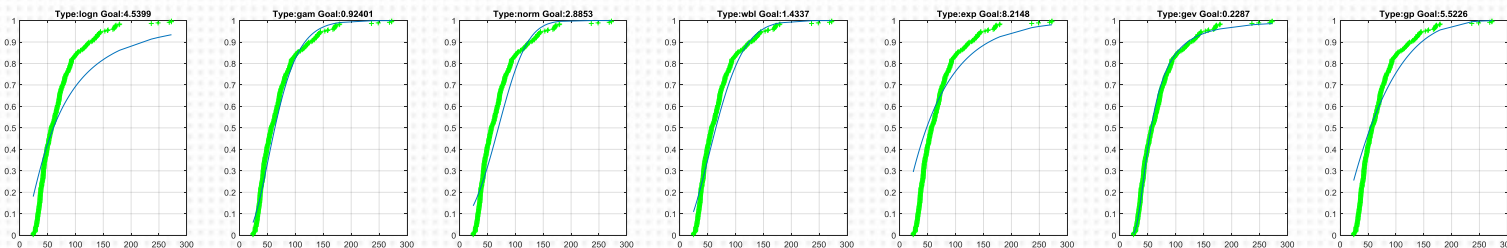
Max sum opadów 14 dniowych, 1979- 2017



Max sum opadów 10 dniowych , 1979- 2017



Max sum opadów 7 dniowych, 1979- 2017



Prawdopodobieństwo przewyższenia sumy opadów 180 mm (warunkowe) w ciągłym opadzie 7, 8 ,..., 14 dniowym

Liczba lat		Liczba dni trwającego opadu							
		7	8	9	10	11	12	13	14
20	1979-1999	0.016	0.020	0.023	0.026	0.029	0.035	0.041	0.049
25	1979-2004	0.016	0.020	0.023	0.026	0.031	0.039	0.052	0.062
30	1979-2009	0.016	0.021	0.026	0.033	0.043	0.054	0.071	0.089
35	1979-2014	0.016	0.027	0.039	0.052	0.068	0.082	0.100	0.122
39	1979-2017	0.016	0.027	0.039	0.052	0.068	0.082	0.100	0.122

Wartości prawdopodobieństw warunkowych przewyższenia sumy opadów 180 mm w przekroju liczby dni trwającego opadu wykazują trend rosnący

Warunki przepuszczenia wód powodziowych

Zgodnie z klasyfikacją głównych budowli hydrotechnicznych (DU), obwałowania w śródmiejskiej części Krakowa zalicza się do I klasy budowli hydrotechnicznych

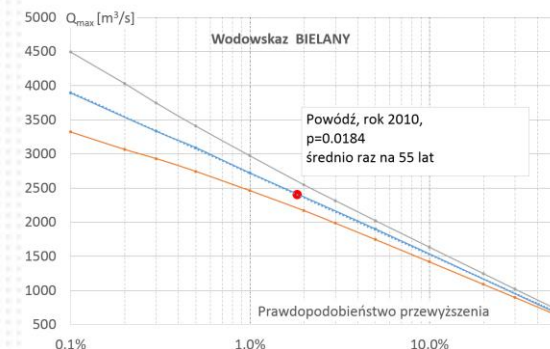
Wartości przepływów miarodajnych i kontrolnych dla I klasy budowli

- $Q_m = Q_{0,5\%}$ oraz $Q_k = Q_{0,1\%}$

Do obliczeń przyjęto przepływy obliczeniowe:

- $Q_{0,5\%} = 3090 \text{ [m}^3/\text{s]}$

- $Q_{0,1\%} = 3890 \text{ [m}^3/\text{s]}$



Bezpieczne wzniesienie korony wałów

- Rozporządzenie reguluje ponadto bezpieczne wzniesienie korony stałych budowli hydrotechnicznych

Dla obwałowań przeciwpowodziowych I klasy

Rodzaj budowli	Warunki eksploatacji	Bezpieczne wzniesienie korony budowli nad statycznym poziomem wody [m]	
		I klasa budowli	
Obwałowania	miarodajne przepływy wezbraniowe dla Q_m	1,3	
	wyjątkowe warunki pracy budowli dla Q_k	0,3	

Porównanie wymogów rzędnej korony obwałowań dla przepływu miarodajnego

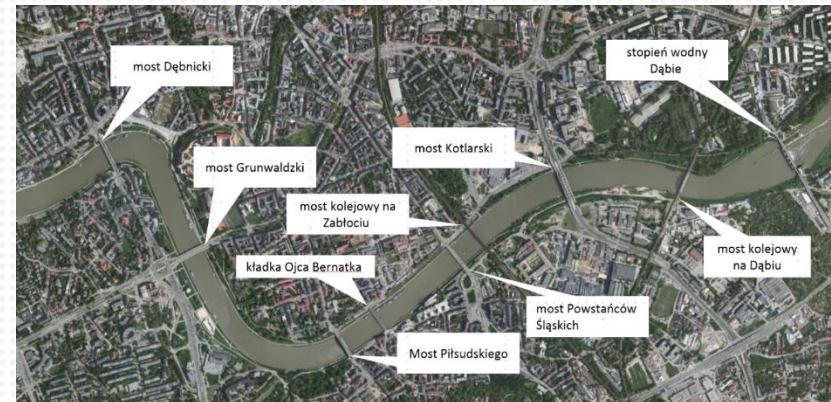
Lokalizacja	Rzędna korony wału lewego [m n.p.m.]	Rzędna korony wału prawego [m n.p.m.]	Rzędna korony wału zgodna z rozporządzeniem	Różnica rzędnych korony wału	
				dla wału lewego	dla wału prawego
1.5km powyżej mostu Dębnickiego	206,97	206,09	208,07	1,1	1,98
poniżej mostu Dębnickiego	205,57	205,45	207,25	1,68	1,80
powyżej mostu Grunwaldzkiego	205,94	205,32	207,03	1,09	1,71
poniżej mostu Grunwaldzkiego	206,24	206,24	206,90	0,66	0,66
powyżej mostu Piłsudskiego	204,85	204,44	206,44	1,59	2,00

Porównanie wymogów rzędnej korony obwałowań dla przepływu kontrolnego

Lokalizacja	Rzędna korony wału lewego [m n.p.m.]	Rzędna korony wału prawego [m n.p.m.]	Rzędna korony wału zgodna z rozporządzeniem	Różnica rzędnych korony wału	
				dla wału lewego	dla wału prawego
1.5km powyżej mostu Dębnickiego	206,97	206,09	208,32	1,35	2,23
poniżej mostu Dębnickiego	205,57	205,45	207,43	1,86	1,98
powyżej mostu Grunwaldzkiego	205,94	205,32	207,20	1,26	1,88
poniżej mostu Grunwaldzkiego	206,24	206,24	207,04	0,80	0,80
powyżej mostu Piłsudskiego	204,85	204,44	206,58	1,73	2,14

Odporność systemu

- dla przepływu miarodajnego i kontrolnego największe niedobory wysokości wałów występują w części śródmiejskiej Krakowa,
- dla przepływu miarodajnego wały są za niskie o ponad 1m, a dla przepływu kontrolnego niedobór przekracza nawet 2m,
- w rejonie mostu Grunwaldzkiego obwałowania są za niskie o ok. 0,6-0,8m,
- przepływ tysiącletni $Q_{0,1\%}$ przeleje się przez obwałowania na całej długości badanego odcinka,
- przepływ $Q_{0,5\%}$, odpowiadający wodzie dwustuletniej, zostanie zatrzymany przez obwałowania w kilku miejscach, jednak w każdym przekroju przeleje się przez koronę wału przynajmniej po jednej stronie rzeki



Podsumowanie

- odporność systemu ochrony przeciw powodziowej dla miasta Krakowa skuteczna jest na poziomie wody 100 letniej (optymistycznie)
- graniczne obciążenie systemu przeciwpowodziowego na podstawie doświadczeń zdarzeń opadowych oraz reakcji zlewni można określić na poziomie „kilkudniowej” sumy opadu około 180mm
- wymuszenia w postaci generowania zjawisk powodziowych zwiększają swoją intensywność i nasilenie
- niekorzystną relację wymuszenie – odporność pogłębia błędna polityka zagospodarowania przestrzennego oraz odprowadzania wód opadowych

Dziękuję za uwagę